

10/085,204



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 2月26日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-051266

[ST.10/C]:

[JP2001-051266]

出 願 人

Applicant(s):

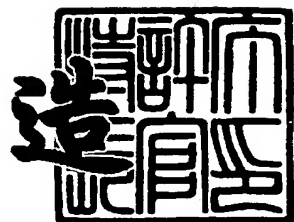
株式会社リコー



2002年 5月14日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2002-3035036

【書類名】 特許願

【整理番号】 0100993

【提出日】 平成13年 2月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H04B 10/12

【発明の名称】 光通信システム

【請求項の数】 5

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号  
                                 株式会社リコー内

    【氏名】 鈴木 幸栄

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号  
                                 株式会社リコー内

    【氏名】 桜井 彰

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号  
                                 株式会社リコー内

    【氏名】 加藤 正良

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号  
                                 株式会社リコー内

    【氏名】 古田 輝幸

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号  
                                 株式会社リコー内

    【氏名】 宮垣 一也

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 金井 健

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 和多田 篤行

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 俊一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 菅原 悟

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 佐藤 新治

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 曳地 秀一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号

株式会社リコー内

【氏名】 関谷 卓朗

【特許出願人】

【識別番号】 000006747

【氏名又は名称】 株式会社リコー

【代表者】 桜井 正光

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003724

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光通信システム

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、光ファイバーまたは光導波路のコア径 $X$ 、半導体レーザの開口径 $d$ 、半導体レーザの光放射角 $\theta$ とすると、半導体レーザから光ファイバまたは光導波路端までの光路長 $l$ が

$$d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$$

を満たすことを特徴とする光通信システム。

【請求項2】 レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結

合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、光ファイバーまたは光導波路のコア径 $X$ 、半導体レーザの開口径 $d$ 、半導体レーザの光放射角 $\theta$ とすると、半導体レーザから光ファイバまたは光導波路端までの光路長 $l$ が

$$d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$$

を満たすことを特徴とする光通信システム。

【請求項3】 前記半導体レーザと光ファイバまたは光導波路は当接していることを特徴とする請求項1または2記載の光通信システム。

【請求項4】 前記光ファイバまたは光導波路は、放熱部をもち、該放熱部は、前記半導体レーザ素子チップに当接していることを特徴とする請求項1または2記載の光通信システム。

【請求項5】 前記光ファイバまたは光導波路と、前記半導体レーザ素子は、複数個設けられていることを特徴とする請求項1または2記載の光通信システム。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は光通信などに用いられる半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、中でも半導体レーザとして製作に使用する半導体基板面に対して垂直方向に光を発するいわゆる面発光レーザを用い複数のレーザ素子を形成して、大容量の通信を可能にした光通信システムに関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

面発光半導体レーザは、基板の表面から垂直方向にレーザ光を放射するので2次元並列集積が可能であり、更に、その出力光の広がり角が比較的狭い（10度前後）ので光ファイバとの結合が容易であるほか、素子の検査が容易であるという特徴を有している。そのため、特に、並列伝送型の光送信モジュール（光インタコネクション装置）を構成するのに適した素子として開発が盛んに行なわれている。光インタコネクション装置の当面の応用対象は、コンピュータ等の筐体間

やボード間の並列接続のほか、短距離の光ファイバー通信であるが、将来の期待される応用として大規模なコンピュータ・ネットワークや長距離大容量通信の幹線系がある。

## 【 0 0 0 3 】

一般に、面発光半導体レーザは、GaAs 又はGaInAs からなる活性層と、当該活性層を上下に挟んで配置された上部の半導体分布ブラッグ反射鏡と基板側の下部の半導体分布ブラッグ反射鏡からなる光共振器をもって構成するのが普通であるが、端面発光型半導体レーザの場合に比較して光共振器の長さが著しく短いため、反射鏡の反射率を極めて高い値(99%以上)に設定することによってレーザ発振を起こし易くする必要がある。このため、通常は、AlAs からなる低屈折率材料とGaAs からなる高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡が使用されている。

## 【 0 0 0 4 】

ところで上記のように、光通信に使用されるようなレーザ波長が1.1 $\mu$ m以上の長波長帯レーザ、例えばレーザ波長が1.3 $\mu$ m帯や1.55 $\mu$ m帯であるような長波長帯レーザは、製作基板にInPが用いられ、活性層にInGaAsPが用いられるが、基板のInPの格子定数が大きく、これに整合する反射鏡材料では屈折率差が大きく取れず、従って積層数を40対以上とする必要がある。またInP基板上に形成される半導体レーザには、別の問題として、温度によって特性が大きく変化する点がある。そのため、温度を一定にする装置を付加して使用する必要があり、民生用等一般用に供することが困難であり、このような積層数と温度特性の問題から、実用的な長波長帯面発光半導体は、未だ実用化されるに至っていない。

## 【 0 0 0 5 】

このような問題を解決するためになされた発明として、特開平9-237942号公報に開示されたものが知られている。それによると、製作基板としてGaAs 基板を用い、基板側の下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからなる半導体層を用い、さらに、下部上部のうち少なくとも一方の半導体分布ブラッグ反射鏡の高屈

折率層にGaInNAs からの半導体層を用い、従来よりも大きい屈折率差を得るようにし、少ない積層数で高反射率の半導体分布ブラッグ反射鏡を実現しようというものである。

## 【0006】

また、GaInNAs を活性層の材料として使用している。これは、N組成を増加させることによってバンドギャップ（禁制帯幅）を1.4 eVから0 eVへ向かって低下させることができるので、0.85  $\mu$ mよりも長い波長を発光する材料として用いることが可能となるからである。しかもGaAs 基板と格子整合が可能なので、GaInNAs からの半導体層は、1.3  $\mu$ m帯及び1.55  $\mu$ m帯の長波長帯面発光半導体レーザのための材料として好ましい点についても言及している。

## 【0007】

しかしながら、従来は0.85  $\mu$ mよりも長い波長帯の面発光半導体レーザ実現の可能性を示唆するにとどまっているだけであり、実際にはそのようなものは実現していない。これは基本的な構成は理論的にはほぼ決まってはいるものの実際に安定したレーザ発光が得られるようにするためのより具体的な構成がまだ不明だからである。

## 【0008】

一例を挙げると、上記のようにAlAs からの低屈折率材料とGaAs からの高屈折率材料を1/4波長の周期で交互に積層することによって形成した半導体分布ブラッグ反射鏡を使用したものや、あるいは特開平9-237942号公報に開示されたもののよう、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層に同基板と格子整合が取れるAlInPからの半導体層を用いたものにおいては、レーザ素子が全く発光しなかったり、あるいは、発光してもその発光効率が低く、実用レベルには程遠いものであった。これは、Alを含んだ材料が化学的に非常に活性であり、Alに起因する結晶欠陥が生じ易いためである。これを解決するためには、特開平8-340146号公報や特開平7-307525号公報に開示された発明のようにAlを含まないGaInNPとGaAsとから半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する提案がある。しかしながらGaInNPとGaAs との屈折率差



はAlAsとGaAsとの屈折率差に比べて約半分であり、反射鏡の積層数を非常に多くなり製作が困難となる。

## 【0009】

すなわち現状では、コンピュータ・ネットワークなどで光ファイバー通信が期待されているが、それに使用できるレーザ波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在せず、その出現が切望されている。

## 【0010】

## 【発明が解決しようとする課題】

本発明はこのような光通信などに用いられるレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザならびにその光通信システムに関するものであり、その第1の目的は、動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、低消費電力で、部品点数が少なく、良好な光学的結合効率を可能とする光通信システムを提案することにある。

## 【0011】

また第2の目的は、安定して使用できるレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザ素子チップを発光光源として利用し、信頼性が高く実用的で、部品点数が少なく、良好な光学的結合効率を可能とする光通信システムを提案することにある。

## 【0012】

さらに第3の目的は、このような光通信システムにおいて、アライメントマージンが大きく、低コストで、良好な光学的結合効率を提案することにある。

## 【0013】

また第4の目的は、このような光通信システムにおいて、高い信頼性を提案することにある。

## 【0014】

また第5目的は、このような光通信システムにおいて、大容量の光通信システムを提案することにある。

## 【0015】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は前記目的を達成するために第1に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料層の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料層は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料層は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、かつ前記屈折率が小と大の材料層の間に該屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、光ファイバまたは光導波路のコア径X、半導体レーザの開口径d、半導体レーザの光放射角 $\theta$ とすると、半導体レーザから光ファイバまたは光導波路端までの光路長lが

$$d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$$

を満たすようにした。

## 【0016】

また第2に、レーザチップと該レーザチップと接続される光通信システムにおいて、前記レーザチップは発振波長が $1.1\mu\text{m}$ ～ $1.7\mu\text{m}$ であり、光を発生する活性層を、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層、もしくはGa、In、Asよりなる層とし、レーザ光を得るために前記活性層の上部及び下部に設けられた反射鏡を含んだ共振器構造を有する面発光型半導体レーザ素子チップであって、前記反射鏡はそれを構成する材料の屈折率が小／大と周期的に変化し入射光を光波干渉によって反射する半導体分布ブラッグ反射鏡であるとともに、前記屈折率が小の材料は $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) とし、前記屈折率が大の材料は $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ ) とした反射鏡であり、前記活性層と前記反射鏡の間にGaInPもしくはGaInPAsよりなる非発光再結合防

止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップを発光光源としたものであり、光ファイバーまたは光導波路のコア径 $X$ 、半導体レーザの開口径 $d$ 、半導体レーザの光放射角 $\theta$ とすると、半導体レーザから光ファイバまたは光導波路端までの光路長 $l$ が

$$d + 2l \tan(\theta/2) \leq X$$

を満たすようにした。

【0017】

さらに第3に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記半導体レーザと光ファイバまたは光導波路は当接するようにした。

【0018】

また第4に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記光ファイバまたは光導波路は、放熱部をもち、該放熱部は、前記半導体レーザ素子チップに当接しているを有するようにした。

【0019】

また第5に、上記第1、第2の光通信システムにおいて、前記光ファイバまたは光導波路と、前記半導体レーザ素子は、複数個設けられているようにした。

【0020】

【発明の実施の形態】

最初に本発明の光通信システムに適用される発光素子である伝送ロスが少ないレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザの1例について図1を用いて説明する。

【0021】

前述のように、従来は本発明が適用しようとしているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$ の長波長帯面発光半導体レーザに関しては、その可能性の示唆があるのみで、実現のための材料、ならびにより具体的、詳細な構成は不明であった。本発明では、活性層としてGaInNAs等の材料を使用し、さらに具体的な構成を明確にした。以下にそれを詳述する。

【0022】

本発明では、面方位(100)のn-GaAs基板上に、それぞれの媒質内に

おける発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)で $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ ) (低屈折率層~屈折率小の層)と $n\text{-Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層~屈折率大の層)を交互に35周期積層した $n$ -半導体分布ブラッグ反射鏡( $\text{AlAs/GaAs}$ 下部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成し、その上に $\lambda/4$ の厚さの $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層を積層した。この例では $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

## 【0023】

そしてその上にアンドープ下部 $\text{GaAs}$ スペーサ層と、3層の $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$ 量子井戸層である活性層(量子井戸活性層)と $\text{GaAs}$ バリア層(20nm)からなる多重量子井戸活性層と、アンドープ上部 $\text{GaAs}$ スペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長 $\lambda$ の1波長分の厚さ( $\lambda$ の厚さ)の共振器を形成している。

## 【0024】

さらにその上に、C(炭素)ドーパの $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層とZnドーパ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ )をそれぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(1周期)を積層し、その上にCドーパの $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.9$ )とZnドーパ $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ )をそれぞれの媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さで交互に積層した周期構造(25周期)とからなる半導体分布ブラッグ反射鏡( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As/GaAs}$ 上部半導体分布ブラッグ反射鏡)を形成している。この例では $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ )層も上部反射鏡の一部であり、低屈折率層(屈折率小の層)となっている。

## 【0025】

なおここで、上部/下部反射鏡ともそれぞれ低屈折率層(屈折率小の層)/高屈折率層(屈折率大の層)を交互に積層して形成するが、本発明ではこれらの間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )を設けている。図2は、低屈折率層(屈折率小の層)と高屈折率層(屈折率大の層)の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  (

$0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けた半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を示したものである (図 1 では図が複雑になるので図示することを省略している)。

## 【 0 0 2 6 】

従来レーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関して、このような材料層を設けることも検討はされているが、まだ検討段階であり、その材料、あるいはその厚さなどまで詳細には検討されていない。また本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザに関しては全く検討されていない。その理由はこの分野 (レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザ) が新しい分野であり、まだほとんど研究が進んでいないからである。

## 【 0 0 2 7 】

本発明者はいち早くこの分野 (レーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた光通信) の有用性に気づき、それを実現するために鋭意検討を行った。

## 【 0 0 2 8 】

このような材料層は形成時にガス流量をコントロールするなどして、その Al 組成を連続的もしくは段階的に変えるようにしてその材料層の屈折率が連続的もしくは段階的に変化するようにして形成する。

## 【 0 0 2 9 】

より具体的には、 $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) 層の  $z$  の値を 0 から 1.0 まで変わるように、つまり  $\text{GaAs} \sim \text{AlGaAs} \sim \text{AlAs}$  という具合に Al と Ga の比率が徐々に変わるようにして形成する。これは前述のように層形成時にガス流量をコントロールすることによって作成される。また、Al と Ga の比率が前述のように連続的に変わるようにして形成しても良いし、段階的にその比率が変わるようにしても同等の効果がある。

## 【 0 0 3 0 】

このような材料層を設ける理由は、半導体分布ブラッグ反射鏡の持つ問題点の一つである p-半導体分布ブラッグ反射鏡の電気抵抗が高いという課題を解決するためである。これは半導体分布ブラッグ反射鏡を構成する 2 種類の半導体層の

界面に生じるヘテロ障壁が原因であるが、本発明のように低屈折率層と高屈折率層の界面に一方の組成から他方の組成へ次第にA1組成が変化するようにして、屈折率も変化させることによってヘテロ障壁の発生を抑制することが可能である。

#### 【0031】

またこのような屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) は本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合、 $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$  の厚さとするのが良く、これより薄いと抵抗が大となり電流が流れにくく、素子が発熱したり、駆動エネルギーが高くなるという不具合がある。また厚いと抵抗が小となり、素子の発熱や、駆動エネルギーの面で有利になるが、今度は反射率がとれないという不具合があり、前述のように最適の範囲 ( $5 \text{ nm} \sim 50 \text{ nm}$  の厚さ) を選ぶ必要がある。

#### 【0032】

なお、前述のように従来のレーザ波長が  $0.85 \mu\text{m}$  帯の半導体レーザに関してこのような材料層を設けることも検討されているが、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合は、より効果的である。なぜなら、例えば同等の反射率 (例えば99.5%以上) を得るためには、 $0.85 \mu\text{m}$  帯よりも  $1.1 \mu\text{m}$  帯  $\sim 1.7 \mu\text{m}$  帯の場合、このような材料層を約2倍程度にすることができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができ、動作電圧、発振閾値電流等が低くなり、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動の面で有利となる。

#### 【0033】

つまり半導体分布ブラッグ反射鏡にこのような材料層を設けることは、本発明のようなレーザ発振波長が  $1.1 \mu\text{m} \sim 1.7 \mu\text{m}$  の長波長帯面発光半導体レーザの場合に特に効果的な工夫といえる。

#### 【0034】

なお効果的な反射率を得るためのより詳細な検討結果の一例を挙げると、例えば  $1.3 \mu\text{m}$  帯面発光型レーザ素子では、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=1.0$ )

(低屈折率層～屈折率小の層)と $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $y=0$ ) (高屈折率層～屈折率大の層)を20周期積層した場合においては、半導体分布ブラッグ反射鏡の反射率が99.7%以下となる $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )層の厚さは30nmである。また、反射率が99.5%以上となる波長帯域は53nmであり、反射率を99.5%以上と設計した場合、±2%の膜厚制御ができればよい。そこでこれと同等およびこれより薄い、10nm、20nm、30nmのものを試作したところ、反射率を実用上問題のない程度に保つことができ、半導体分布ブラッグ反射鏡の抵抗値を低減させることができた1.3μm帯面発光型レーザ素子を実現、レーザ発振に成功した。なお試作したレーザ素子の他の構成は後述のとおりである。

## 【0035】

なお多層膜反射鏡においては設計波長(膜厚制御が完全にできたとして)を含んで反射率の高い帯域がある。高反射率の帯域(反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域を含む)と呼ぶ。設計波長の反射率が最も高く、波長が離れるにしたがってごくわずかなずつ低下している領域である。ある領域から急激に低下する。そして狙いの波長に対して必要な反射率以上となるように、本来、多層膜反射鏡の膜厚を原子層レベルで完全に制御する必要がある。しかし実際には±1%程度の膜厚誤差は生じるので狙いの波長と最も反射率の高い波長はずれてしまう。例えば狙いの波長が1.3μmの場合、膜厚制御が1%ずれたとき、最も反射率の高い波長は13nmずれてしまう。よってこの高反射率の帯域(ここでは反射率が狙いの波長に対して必要値以上である領域)は広い方が望ましい。しかし中間層を厚くするとこの帯域が狭くなる傾向にある。

## 【0036】

このように本発明のようなレーザ発振波長が1.1μm～1.7μmの長波長帯面発光半導体レーザにおいて、このような半導体分布ブラッグ反射鏡の構成を工夫、最適化することにより、反射率を高く維持したまま抵抗値を低減させることができるので、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱防止ならびに安定発振、少エネルギー駆動が可能となる。

## 【0037】

再び図1に戻り、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 ( $p$ -コンタクト層) としての役割も持っている。

## 【0038】

ここで、量子井戸活性層の  $\text{In}$  組成  $x$  は 39% ( $\text{Ga}_{0.61}\text{In}_{0.39}\text{As}$ ) とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。なお量子井戸活性層は、 $\text{GaAs}$  基板に対して約 2.8% の圧縮歪を有していた。

## 【0039】

またこの面発光型半導体レーザ全体の成長方法は MOCVD 法で行った。この場合、格子緩和は見られなかった。半導体レーザの各層を構成する原料には、 $\text{TMAl}$  (トリメチルアルミニウム)、 $\text{TMG}$  (トリメチルガリウム)、 $\text{TMI}$  (トリメチルインジウム)、 $\text{AsH}_3$  (アルシン)、 $\text{PH}_3$  (フォスフィン) を用いた。また、キャリアガスには  $\text{H}_2$  を用いた。図1に示した素子の活性層 (量子井戸活性層) のように歪が大きい場合は、非平衡となる低温成長が好ましい。ここでは、 $\text{GaInAs}$  層 (量子井戸活性層) は 550℃ で成長させている。ここで使用した MOCVD 法は過飽和度が高く高歪活性層の結晶成長に適している。また MBE 法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

## 【0040】

またこの例では、電流経路外の部分をプロトン ( $\text{H}^+$ ) 照射によって絶縁層 (高抵抗部) を作って、電流狭さく部を形成した。

## 【0041】

そしてこの例では、上部反射鏡の最上部の層であり上部反射鏡一部となっている  $p$ -コンタクト層上に光出射部を除いて  $p$  側電極を形成し、基板の裏面に  $n$  側電極を形成した。

## 【0042】

この例では、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域 (本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器) において、活性領域内には  $\text{Al}$  を含んだ材料 (III 族に占める割合が 1% 以上



）を用いず、さらに、下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。キャリアは、活性層に最も近くワイドギャップである上部及び下部反射鏡の低屈折率層間に閉じ込められるので、活性領域のみを Al を含まない層 (II I 族に占める割合が 1% 以下) で構成しても活性領域に接する反射鏡の低屈折率層 (ワイドギャップ層) に Al を含んだ構造としたのでは、キャリアが注入され再結合する時、この界面で非発光再結合が生じ発光効率は低下してしまう。よって活性領域は Al を含まない層で構成することが望ましい。

## 【0043】

この例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成としたので、キャリア注入時に Al に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合がなくなり、非発光再結合が低減した。

## 【0044】

前述のように、反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成とする、すなわち非発光再結合防止層を設けることを、上下反射鏡ともに適用することが好ましいが、一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。また前述の例では、反射鏡低屈折率層の最も活性層に近い層のみを  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としているが、複数層の  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) を非発光再結合防止層としても良い。

## 【0045】

さらにこの例では、GaAs 基板と活性層との間の下部反射鏡にこの考えを適用し、活性層の成長時に問題となる、Al に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。これらにより、発光効率は高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザーが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分を Al を含まない  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させ

ることなく、上記効果を得ることができている。

【0046】

このようにして製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約  $1.2\ \mu\text{m}$  であった。GaAs 基板上の GaInAs は、In 組成の増加で長波長化するが歪み量の増加をとめない、従来  $1.1\ \mu\text{m}$  までが長波長化の限界と考えられていた（文献「IEEE Photonics. Technol. Lett. Vol. 9 (1997) pp. 1319-1321」参照）。

【0047】

しかしながら今回発明者が製作したように、 $600^\circ\text{C}$  以下の低温成長などの非平衡度の高い成長法により高歪の GaInAs 量子井戸活性層を従来より厚くコヒーレント成長することが可能となり、波長は  $1.2\ \mu\text{m}$  まで到達できた。なおこの波長は Si 半導体基板に対して透明である。従って Si 基板上に電子素子と光素子を集積した回路チップにおいて Si 基板を通した光伝送が可能となる。

【0048】

以上の説明より明らかなように In 組成が大きい高圧縮歪の GaInAs を活性層に用いることにより、GaAs 基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できることがわかった。

【0049】

なお前述のように、このような面発光型半導体レーザは、MOCVD 法で成長させることができるが、MBE 法等の他の成長方法を用いることもできる。また活性層の積層構造として、3 重量子井戸構造 (TQW) の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造 (SQW、MQW) 等を用いることもできる。

【0050】

レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。また共振器長は  $\lambda$  の厚さとしたが  $\lambda/2$  の整数倍とすることができる。望ましくは  $\lambda$  の整数倍である。また半導体基板として GaAs を用いた例を示したが、InP などの他の半導体基板を用いた場合でも上記の考え方を適用できる。反射鏡の周期は他の周期でも良い。

【0051】

なおこの例では活性層として、主たる元素が Ga、In、As よりなる層、す

なわち  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{As}$  ( $\text{GaInAs}$  活性層) の例を示したが、より長波長のレーザ発振を行うためには、N を添加し主たる元素が Ga、In、N、As となる層 ( $\text{GaInNAs}$  活性層) とすればよい。

## 【0052】

実際に  $\text{GaInNAs}$  活性層の組成を変えることにより、 $1.3\mu\text{m}$  帯、 $1.55\mu\text{m}$  帯のそれぞれにおいて、レーザ発振を行うことが可能であった。組成を検討することにより、さらに長波長の例えば  $1.7\mu\text{m}$  帯の面発光レーザも可能となる。

## 【0053】

また、活性層に  $\text{GaAsSb}$  を用いても  $\text{GaAs}$  基板上に  $1.3\mu\text{m}$  帯面発光レーザを実現できる。このように波長  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪の  $\text{GaInAs}$ 、 $\text{GaInNAs}$ 、 $\text{GaAsSb}$  を用い、かつ、非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長  $1.1\mu\text{m} \sim 1.7\mu\text{m}$  帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになった。

## 【0054】

次に本発明の光送受信システムに適用される発光素子である長波長帯面発光型半導体レーザの他の構成について、図3を用いて説明する。

## 【0055】

この場合も図1の場合と同様に面方位(100)の  $n\text{-GaAs}$  基板を使用している。それぞれの媒質内における発振波長  $\lambda$  の  $1/4$  倍の厚さ ( $\lambda/4$  の厚さ) で  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0.9$ ) と  $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) を交互に35周期積層した  $n$ -半導体分布ブラッグ反射鏡 ( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$  下部反射鏡) を形成し、その上に  $\lambda/4$  の厚さの  $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) 層を積層した。この例では  $n\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5$ ,  $y=1$ ) 層も下部反射鏡の一部であり低屈折率層となっている。

## 【0056】

そしてその上に、アンドープ下部  $\text{GaAs}$  スペース層と、3層の  $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{N}_y\text{As}_{1-y}$  量子井戸層である活性層 (量子井戸活性層) と  $\text{GaAs}$  バリア層 (1

5 nm) から構成される多重量子井戸活性層 (この例では 3 重量子井戸 (TQW)) と、アンドープ上部 GaAs スペーサ層とが積層されて、媒質内における発振波長の 1 波長分の厚さ ( $\lambda$  の厚さ) の共振器を形成している。

【0057】

さらにその上に、p-半導体分布ブラッグ反射鏡 (上部反射鏡) が形成されている。

【0058】

上部反射鏡は、被選択酸化層となる AlAs 層を、GaInP 層と AlGaAs 層で挟んだ  $3\lambda/4$  の厚さの低屈折率層 (厚さが  $(\lambda/4 - 15\text{ nm})$ ) の Cドープ  $p\text{-Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $x=0.5, y=1$ ) 層、Cドープ  $p\text{-Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $z=1$ ) 被選択酸化層 (厚さ 30 nm)、厚さが  $(2\lambda/4 - 15\text{ nm})$  の Cドープ  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層 ( $x=0.9$ ) と、厚さが  $\lambda/4$  の GaAs 層 (1 周期) と、Cドープの  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  層 ( $x=0.9$ ) と  $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層をそれぞれの媒質内における発振波長の  $1/4$  倍の厚さで交互に積層した周期構造 (22 周期) とから構成されている半導体分布ブラッグ反射鏡 ( $\text{Al}_{0.9}\text{Ga}_{0.1}\text{As}/\text{GaAs}$  上部反射鏡) である。

【0059】

なおこの例においても、図 3 では複雑になるので図示することは省略しているが、半導体分布ブラッグ反射鏡の構造は、図 2 に示したような低屈折率層 (屈折率小の層) と高屈折率層 (屈折率大の層) の間に、屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ ) を設けたものである。

【0060】

そして、最上部の、 $p\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $x=0$ ) 層は、電極とコンタクトを取るためのコンタクト層 (p-コンタクト層) としての役割も持たせている。

【0061】

ここで量子井戸活性層の In 組成  $x$  は 37%、N (窒素) 組成は 0.5% とした。また量子井戸活性層の厚さは 7 nm とした。

【0062】

またこの面発光型半導体レーザの成長方法は MOCVD 法で行った。半導体レ

ーザの各層を構成する原料には、TMA（トリメチルアルミニウム）、TMG（トリメチルガリウム）、TMI（トリメチルインジウム）、 $AsH_3$ （アルシン）、 $PH_3$ （フォスフィン）、そして窒素の原料にはDMHy（ジメチルヒドラジン）を用いた。DMHyは低温で分解するので600℃以下のような低温成長に適しており、特に低温成長の必要な歪みの大きい量子井戸層を成長する場合に好ましい。なおキャリアガスには $H_2$ を用いた。

## 【0063】

またこの例では、GaInNAs層（量子井戸活性層）は540℃で成長した。MOCVD法は過飽和度が高くNと他のV族を同時に含んだ材料の結晶成長に適している。またMBE法のような高真空を必要とせず、原料ガスの供給流量や供給時間を制御すれば良いので量産性にも優れている。

## 【0064】

さらにこの例では、所定の大きさのメサ部分を $p-Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $x=0.5$ 、 $y=1$ ）層に達するまで、 $p-Al_zGa_{1-z}As$ （ $z=1$ ）被選択酸化層の側面を露出させて形成し、側面の現れた $Al_zGa_{1-z}As$ （ $z=1$ ）層を水蒸気で側面から酸化して $Al_xO_y$ 電流狭さく層を形成している。

## 【0065】

最後にポリイミド（絶縁膜）でメサエッチングで除去した部分を埋め込んで平坦化し、上部反射鏡上のポリイミドを除去し、 $p$ -コンタクト層上に光出射部を除いて $p$ 側電極を形成し、GaAs基板の裏面に $n$ 側電極を形成した。

## 【0066】

この例においては、被選択酸化層の下部に上部反射鏡の一部として $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）層が挿入している。例えばウェットエッチングの場合では、硫酸系エッチャントを用いれば、AlGaAs系に対してGaInPAs系はエッチング停止層として用いることができるため、 $Ga_xIn_{1-x}P_yAs_{1-y}$ （ $0 < x < 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ）層が挿入されていることで、選択酸化のためのメサエッチングの高さを厳密に制御できる。このため、均一性、再現性を高められ、低コスト化が図れる。

## 【0067】

またこの例の面発光型半導体レーザ（素子）を一次元または二次元に集積した場合、素子製作時における制御性が良好になることにより、アレイ内の各素子の素子特性の均一性、再現性も極めて良好になるという効果がある。

## 【 0 0 6 8 】

なおこの例では、エッチングストップ層を兼ねる  $Ga_xIn_{1-x}PyAs$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) 層を上部反射鏡側に設けたが、下部反射鏡側に設けても良い。

## 【 0 0 6 9 】

またこの例においても、上下反射鏡に挟まれた、キャリアが注入され再結合する活性領域（本実施例では上部及び下部スペーサ層と多重量子井戸活性層とからなる共振器）において、活性領域内には Al を含んだ材料を用いず、さらに下部及び上部反射鏡の低屈折率層の最も活性層に近い層を  $Ga_xIn_{1-x}PyAs_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としている。つまりこの例では、活性領域内及び反射鏡と活性領域との界面に、Al を含まない構成としているので、キャリア注入時に、Al に起因していた結晶欠陥が原因となる非発光再結合を低減させることができる。

## 【 0 0 7 0 】

なお反射鏡と活性領域との界面に Al を含まない構成を、この例のように上下反射鏡に適用することが好ましいが、いずれか一方の反射鏡に適用するだけでも効果がある。またこの例では、上下反射鏡とも半導体分布ブラッグ反射鏡としたが、一方の反射鏡を半導体分布ブラッグ反射鏡とし、他方の反射鏡を誘電体反射鏡としても良い。

## 【 0 0 7 1 】

さらにこの例でも、GaAs 基板と活性層との間の下部反射鏡に図 1 の例の場合と同様の考えを適用したので、活性層の成長時に問題となる Al に起因する結晶欠陥の活性層への這い上がりによる悪影響が押さえられ、活性層を高品質に結晶成長することができる。

## 【 0 0 7 2 】

なお、このような非発光再結合防止層は、図 1、図 3 のいずれの構成において

も半導体分布ブラッグ反射鏡の一部を構成するので、その厚さは、媒質内における発振波長 $\lambda$ の $1/4$ 倍の厚さ( $\lambda/4$ の厚さ)としている。あるいはそれを複数層も設けても良い。

## 【0073】

以上の説明より明らかなように、このような構成により、発光効率が高く、信頼性は実用上十分な面発光型半導体レーザが得られた。また、半導体分布ブラッグ反射鏡の低屈折率層のすべてではなく、少なくとも活性領域に最も近い部分をAlを含まない $\text{Ga}_x\text{In}_{1-x}\text{P}_y\text{As}_{1-y}$  ( $0 < x < 1$ ,  $0 < y \leq 1$ ) の非発光再結合防止層としただけなので、反射鏡の積層数を特に増加させることなく、上記効果を得ることができた。

## 【0074】

またこのような構成にしても、ポリイミドの埋め込みは容易であるので、配線(この例ではp側電極)が段切れしにくく、素子の信頼性は高いものが得られる。

## 【0075】

このように製作した面発光型半導体レーザの発振波長は約 $1.3 \mu\text{m}$ であった。

## 【0076】

この例では、主たる元素がGa、In、N、Asからなる層を活性層に用いた(GaInNAs活性層)ので、GaAs基板上に長波長帯の面発光型半導体レーザを形成できた。またAlとAsを主成分とした被選択酸化層の選択酸化により電流狭さくを行ったので、しきい値電流は低かった。

## 【0077】

被選択酸化層を選択酸化したAl酸化膜からなる電流狭さく層を用いた電流狭さく構造によると、電流狭さく層を活性層に近づけて形成することで電流の広がりを抑えられ、大気に触れない微小領域に効率良くキャリアを閉じ込めることができる。更に酸化してAl酸化膜となることで屈折率が小さくなり凸レンズの効果でキャリアの閉じ込められた微小領域に効率良く光を閉じ込めることができ、極めて効率が良くなり、しきい値電流は低減できる。また容易に電流狭さく構造

を形成できることから、製造コストを低減できる。

【0078】

以上の説明から明らかなように図3のような構成においても図1の場合と同様に、1.3  $\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを実現でき、しかも低消費電力で低コストの素子が得られる。

【0079】

なお、図3の面発光型半導体レーザも図1の場合と同様にMOCVD法で成長させることができるが、MBE法等の他の成長方法を用いることもできる。また窒素の原料に、DMHyを用いたが、活性化した窒素や $\text{NH}_3$ 等他の窒素化合物を用いることもできる。

【0080】

さらに活性層の積層構造として3重量子井戸構造(TQW)の例を示したが、他の井戸数の量子井戸を用いた構造(SQW、DQW、MQW)等を用いることもできる。レーザの構造も他の構造にしてもかまわない。

【0081】

また図3の面発光型半導体レーザにおいて、GaInNAs活性層の組成を変えることで、1.55  $\mu\text{m}$ 帯、更にはもっと長波長の1.7  $\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザも可能となる。GaInNAs活性層にTl、Sb、Pなど他のIII-V族元素が含まれていてもかまわない。また活性層にGaAsSbを用いても、GaAs基板上に1.3  $\mu\text{m}$ 帯の面発光型半導体レーザを実現できる。

【0082】

なお活性層にGaInAsを用いた場合、従来1.1  $\mu\text{m}$ までが長波長化の限界と考えられていたが、600℃以下の低温成長により高歪のGaInAs量子井戸活性層を従来よりも厚く成長することが可能となり、波長は1.2  $\mu\text{m}$ まで到達できる。このように、波長1.1  $\mu\text{m}$ ～1.7  $\mu\text{m}$ の半導体レーザは従来適した材料がなかったが、活性層に高歪のGaInAs、GaInNAs、GaAsSbを用い、かつ非発光再結合防止層を設けることにより、従来安定発振が困難であった波長1.1  $\mu\text{m}$ ～1.7  $\mu\text{m}$ 帯の長波長領域において、高性能な面発光レーザを実現できるようになり、光通信システムへの応用ができるようになった。



た。

### 【 0 0 8 3 】

図 4 はこのような長波長帯面発光半導体レーザ素子を、面方位 (1 0 0) の  $n$ -GaAs ウエハに多数のチップとして形成した例、ならびにレーザ素子チップを示したものである。こので示したレーザ素子チップには、1 ~  $n$  個のレーザ素子が形成されているが、その個数  $n$  はその用途に応じて、数ならびに配列方法が決められる。

### 【 0 0 8 4 】

次に、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路の結合部に関して、本発明の説明を下記に記す。まず、図 5 に示すように、半導体レーザから基板に対して法線方向に放出されたレーザビームをその光軸に対して、垂直な検出面での強度分布は、ガウス関数に近い強度分布が得られた。ここで、ビーム径をそのプロファイルの半値全幅 (FWHM) とし、そのビーム径と半導体レーザ検出面の距離から、光放射角  $\theta$  を測定できる。本実施例の面発光型半導体レーザにおいては、等方的に 5 ~ 10 度程度の値が得られた。一方、従来公知の 1.1 ~ 1.7  $\mu\text{m}$  帯の端面発光型半導体レーザにおいては、この光放射角が大きく、異方性があることが知られている。典型的な値として、半導体レーザの基板に垂直方向の光放射角  $\theta_{\perp}$  は ~ 35 度、基板に並行方向の光放射角  $\theta_{//}$  ~ 25 度である。したがって、従来の端面発光型半導体レーザにおいては、光ファイバや光導波路において、効率的な光結合を得るためにマイクロレンズなどを用いてきた。一方、本実施例の半導体レーザにおいては、上記のように光放射角が小さいため、この様なマイクロレンズが不用で、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路間を近接できる可能性がある。また、光放射角が小さいため、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路間の距離がある場合でも、ビーム径の広がり小さく、ある範囲の半導体レーザと光ファイバまたは光導波路間の光路長に置いて、レンズを用いずに良好な光結合を得る可能性がある。

### 【 0 0 8 5 】

図 6 に半導体レーザの光の広がりや光ファイバまたは光導波路の位置関係を示す模式図、図 7 にビーム径の広がりやの計算結果の一例を示す。半導体レーザの開

口径を $d[\mu\text{m}]$ 、放射角を $\theta$  [度]、半導体レーザー光ファイバ端または光導波路端の光路長を $l[\mu\text{m}]$ 、ファイバのコア径を $X[\mu\text{m}]$ とする。半導体レーザーの光軸と、光ファイバまたは光導波路の光軸は一致しており、図では波線で示してある。ここで、開口径 $d$ は、開口が円の場合には、その直径を 正方形の場合には、正方形の一辺の長さを  $d$ とする。開口が長方形などその他の形の場合には、それに内接する楕円の面積に相当する面積を持つ円の直径を $d$ とする。

## 【 0 0 8 6 】

ここで、半導体レーザー光ファイバ端または光導波路端の光路長としたのは、図9に示すようにミラーで光を折り返す場合を考慮して、光路長としている。この様な光の折り返しがなく光路が直線の場合には、半導体レーザー光ファイバ端または光導波路端の光路長は、単に半導体レーザー光ファイバ端または光導波路端の距離となる。光導波路の場合は、コアの断面が円ではなく、一般的に長方形や正方形であり、正方形の場合には、その一辺を $X[\mu\text{m}]$ 、長方形の場合には短軸を $X[\mu\text{m}]$ とする。

## 【 0 0 8 7 】

このとき、半導体レーザーから垂直に放出されたビームは、光放射角 $\theta$ をもって、光路長 $l$ が大きくなるほど広がり、光ファイバまたは光導波路の端面に達する。光ファイバまたは導波路端面でのレーザービーム径は、

$$d + 2l \tan (\theta / 2)$$

であらわされ、このビーム径が、光ファイバまたは光導波路のコア径 $X$ 以下である光路長 $l$ 内であれば、良好な光結合がえられると考えられる。図7にはこの式に基づいて、本実施例の一例として、半導体レーザーの開口部径 $5\mu\text{m}$ 、光放射角 $10^\circ$ の場合の、比較例として、光放射角度 $35^\circ$ の端面発光型の場合の、半導体レーザー光ファイバ端または光導波路端の光路長 $l$ とビーム径の関係を示す。本実施例の場合には、比較例に比べてビームの広がりが小さい。光ファイバとして一般的なマルチモードファイバのコア径 $50\mu\text{m}$ （クラッド径 $125\mu\text{m}$ ）の場合、 $l$ が $260\mu\text{m}$ の場合、コア径とビーム径が一致する。このコア径とビーム径が一致する半導体レーザーファイバ端の距離内であれば、ファイバのコア径に対して、ビーム径の方が小さく、レーザービームのロスがなく良好な結合を得ることができる。言

い換えれば、半導体レーザと光ファイバ端の距離（光軸方向のアライメント）は、比較例に比べ非常にラフで良いことがわかる。また、サイトップ（旭硝子）のようなGI-POFなど、コア径が $100\mu\text{m}$ の場合には、レーザビーム径がコア径と一致する、半導体レーザファイバ端の距離は、 $550\mu\text{m}$ と更に大きいため、半導体レーザのパッケージと光ファイバを分離した構成を取ることができる。

## 【0088】

図8に上記の面発光型半導体レーザを用いた通信システムの半導体レーザと光ファイバの結合部の一例を示す。通信システムは、面発光型半導体レーザとその駆動回路を有する光送信部、面型フォトディテクタとその駆動回路を有する光受光部、及びそれらの間の伝送経路として作用する光ファイバーまたは光導波路からなっている。ここでは、半導体レーザ及びフォトディテクタの駆動回路は、それぞれの素子と同一の実装基板上に実装している（図示していない）。また、光伝送経路の両側に、光送信部と光受光部を備えることで、双方向の通信を行っても良い。

## 【0089】

実装基板として熱伝導性の良いSi基板を用い、そこに、図2に示す構造の面発光型半導体レーザをアレイ状に並べたレーザアレイ素子を実装する。なお、発振波長は $1.3\mu\text{m}$ のものを使用した。ここでは、半導体レーザの開口径を $10\mu\text{m}$ とし、半導体レーザを12個とした。半導体レーザのピッチは、 $200\mu\text{m}$ とした。ついで、半導体レーザと同一の $200\mu\text{m}$ ピッチで、マルチモードファイバ径に相当する $125\mu\text{m}$ の貫通穴の空いた、窒化アルミAINよりなるホールアレイをレーザアレイ素子のマーカーとこのホールアレイ素子のガイドが一致するように固定した。このとき、ホールアレイは、レーザアレイ素子と当接しており、熱伝導率が約 $300\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ と非常に大きく、放熱部としても作用している。このため、半導体レーザの発振による熱を発光面側からも放熱できるため、より安定した光通信システムとなる。ここに、端面を研磨したマルチモードファイバをつき当て、接着剤で固定した。この様にするこによって、光軸と垂直方向に正確なアライメントが得られる。一方、光軸に垂直方向は光ファイバをつき当てているだけなのでラフなアライメントで、半導体レーザ光ファイバ間は、 $0\sim 20\mu\text{m}$ 程度の空間を生

じた。しかし、光放射角  $\theta$  が8度、開口径  $d$  が  $10\mu\text{m}$  では、半導体レーザー光ファイバ間の距離が  $50\mu\text{m}$  の場合でも、ビーム径は、 $17\mu\text{m}$  であり、マルチファイバのコア径  $50\mu\text{m}$  より十分小さく、上記の式を満たしており、良好な光結合が得られた。従って、 $1.3\mu\text{m}$  の面発光型半導体レーザーを用いて、半導体レーザーと光ファイバの結合部にレンズを用いることがないため、部品点数が少なく、低コストで、光軸方向についてアライメントが緩やかな光通信システムを構築できた。

## 【0090】

一方、光ファイバを半導体レーザーにつき当てたのち、マイクロメータを用いて引き出し量を変え、半導体レーザー光ファイバ間の距離が  $400\mu\text{m}$  の場合、ビーム径は  $66\mu\text{m}$  となり、マルチファイバのコア径  $50\mu\text{m}$  より大きく、上記式を満たさない場合は、十分な光結合が得られなかった。

## 【0091】

実験結果を以下に示す。

$d+2l\tan(\theta/2)$ ( $\mu\text{m}$ )	$X$ ( $\mu\text{m}$ )	評価
10	50	○
20	50	○
30	50	○
40	50	○
50	50	○
60	50	△
70	50	×
80	50	×
10	62.5	○
20	62.5	○
30	62.5	○
40	62.5	○
50	62.5	○
60	62.5	○

7 0	6 2 . 5	×
8 0	6 2 . 5	×

評価：○ 光学的結合効率が良好で実用使用に耐える

△ 光学的結合効率がやや悪くで実用使用にはやや難あり

× 光学的結合効率が悪く実用使用不可

以上の結果より、光ファイバーのコア径を $X$ 、半導体レーザの開口径を $d$ 、半導体レーザの光放射角を $\theta$ 、半導体レーザから光ファイバまでの光路長を $l$ とした場合、 $X$ は $d+2l\tan(\theta/2)$ 以上にしないと実用的ではないことがわかる。

#### 【0092】

ここでは、光ファイバを12本としたが、1本でも、また、4、8、16本など送信するデータによって適宜必要な数でかまわない。また、光ファイバとして、マルチモードファイバを用いたが、遠距離で、大容量の情報を転送するには、シングルモードファイバが、近距離で低コストにするにはプラスチック光ファイバ（POF）が適しているが、上記の式はどの光ファイバについても成り立つ。またファイバ端面は、無反射コーティングなどの処理を行っても良い。

また、放熱部として、窒化アルミAlNを用いたが、Siやカーボン、アルミナなどのセラミックスなど、熱伝導率の高いものであれば放熱部として作用する。

#### 【0093】

次に、本発明の別の実施例について、先と同様に、半導体レーザと光ファイバの結合部を説明する。構成は、図8に示すものとほぼ同じだが、半導体レーザと光ファイバを当接させ、半導体レーザと光ファイバまたは導波路の距離をほぼ0としている。なお、ここでいう“当接”は、“半導体レーザと光ファイバまたは導波路の距離をほぼ0としている”と同義であるが、アセンブリ上の精度の点も考慮にいれ、実際には $0\sim 10\mu\text{m}$ までもその“当接”に含むものとする。

#### 【0094】

実装基板として熱伝導性の良いSi基板を用い、そこに、図2に示す構造の面発光型半導体レーザをアレイ状に並べたレーザアレイ素子を実装する。なお、この

場合も発振波長が $1.3\mu\text{m}$ のものを使用した。

【0095】

ここでは、半導体レーザの開口径を $10\mu\text{m}$ とし、半導体レーザを12個とした。半導体レーザのピッチは、 $200\mu\text{m}$ とした。ついで、半導体レーザと同一の $200\mu\text{m}$ ピッチで、マルチモードファイバ径に相当する $125\mu\text{m}$ の貫通穴の空いた、窒化アルミAINよりなるホールアレイに、マルチモード光ファイバを差し込み、レーザアレイ素子と密着する面より、光ファイバーをやや突出させて固定する。ついで、光ファイバを研磨し、レーザアレイ素子と密着する側のホールアレイ面に光ファイバ端を一致させる。この様にした後、先ほどと同様に、マーカとガイドを一致させることによって、面発光型半導体レーザと光ファイバの光軸を一致させ、なおかつ、レーザアレイ素子とホールアレイを固定することによって、半導体レーザと光ファイバを当接させることができる。この場合は、先の実施例よりより高い光の結合効率を得られた。ビームの広がりほとんどなく、開口径に一致するため、光ファイバのコア径に比べて十分小さく、光軸に直交するアライメントマージンも増加するため、低コストで、 $1.3\mu\text{m}$ の面発光レーザを用いた光通信システムを構築できる。

【0096】

本発明の別の実施例について、先と同様に、半導体レーザと光導波路の結合部を図9に示す。ここでは、半導体レーザから放出されたビームがミラーによって折り返された例を示している。

【0097】

実装基板として熱伝導性の良いSi基板を用い、そこに、図1に示す構造の面発光型半導体レーザをアレイ状に並べたレーザアレイ素子を実装する。ここでは、半導体レーザの開口径を $15\mu\text{m}$ とし、半導体レーザを4個とした。一方、ミラーを実装またはモノリシックに形成した実装基板上に光導波路を形成する。ここでミラーは、Si基板をKOHによって異方性エッチングし、Agを成膜したミラーをSi基板に実装した。更に、ミラーを有する実装基板上に、光導波路を形成した。光導波路は、クラッドを形成した後、コアにポリメチルメタクリレート(PMMA)を用い、パターニングを行い、上層にクラッド層を形成した。サイズは $50\times 50\mu\text{m}$ と

した。光導波路として、PMMAの他に、ポリイミドやエポキシ樹脂、ポリウレタンやポリエチレンなどのポリマー導波路やシリコン酸化膜などの無機膜も用いることができる。また、形成方法もスピンコートやディップコートなどの塗布とパターンニングを組み合わせた、樹脂モールドや金型加工によるものなどが用いられる。レーザアレイ素子を有する実装基板と光導波路を有する基板を半導体レーザの光軸と光導波路の光軸がミラーを介して一致するように固定する。半導体レーザの光放射角は、10度で、開口径は $15\mu\text{m}$ 、半導体レーザ導波路間の光路長 $l$ は、光導波路の端面の位置を変えることで、50、100、 $250\mu\text{m}$ の3種類を用意した。上述の式を満たす光路長50、 $100\mu\text{m}$ については良好な光結合が得られたが、上述の式を満たさない光路長 $250\mu\text{m}$ については良好な光結合は得られなかった。しかし従来の端面発光型半導体レーザに比べ、レンズなどが不用で、光軸方向のアライメントはラフで良かった。従って、 $1.2\mu\text{m}$ の面発光型半導体レーザを用いて、光軸方向についてアライメントが緩やかな光通信システムを構築できた。

## 【0098】

ここでは、ミラーを導波路とは別に形成したが、導波路端面をダイシングブレードなどにより45度に加工し、その傾斜面にAgなどの金属を成膜することによって、導波路とミラーを一体に形成しても良い。また、光導波路径は、マルチモードのため $50\mu\text{m}$ としたが、シングルモードの場合には $10\mu\text{m}$ など小さくする必要があるが基本的に同様の式が成り立つ。また、ここでは、光導波路の断面は、正方形としたが、長方形やまた光シートのように単独の導波路で複数の光信号を伝送してもよい。

## 【0099】

本発明の別の実施例について、先と同様に、半導体レーザと光導波路の結合部を図10に示す。

## 【0100】

実装基板として熱伝導性の良いSi基板を用い、そこに、図2に示す構造の面発光型半導体レーザを実装する。なお、この場合も、発振波長は $1.3\mu\text{m}$ のものを使用した。ここでは、半導体レーザの開口径を $7\mu\text{m}$ とし、光放射角は8度、半導体レーザはアレイではなく1個とした。半導体レーザを実装した実装基板を

パッケージに位置あわせして固定した。更に、パッケージのガイドとガイドピンで位置あわせをした光ファイバガイドによって、半導体レーザとシングルモード光ファイバの光軸を一致させる。シングルモード光ファイバのコア径は、 $10\mu\text{m}$ 、クラッド径は $125\mu\text{m}$ で、光ファイバガイドの径はクラッド径に一致させている。ここで、シングルモードの光ファイバを半導体レーザに当接させることによって、良好な光結合が得られた。シングルモードの光ファイバを用いているために、長距離を高帯域の光伝送が可能となる。 $1.3\mu\text{m}$ の面発光型半導体レーザを用いて、良好な光結合を持つ光通信システムを構築できた。

【0101】

【発明の効果】

〔請求項1に対応した効果〕

コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができる面発光型半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように半導体分布ブラッグ反射鏡を工夫することにより、動作電圧、発振閾値電流等を低くでき、レーザ素子の発熱も少なく安定した発振ができ、また低コストで実用的な光通信システムが実現できた。

【0102】

さらに、従来端面発光型レーザを用いた場合に比べ、本発明のような動作電圧、発振閾値電流等を低くできる面発光型半導体レーザを用いることで、低消費電力な光通信システムを実現でき、また、従来の端面発光型半導体レーザの場合には、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路の間にレンズ光学系を挿入する必要があったが、本発明のような半導体レーザと光ファイバまたは光導波路の位置関係にすることで、レンズを用いる必要がないため部品点数が少なく、光軸方向に関してアライメントが緩やかで光ファイバまたは光導波路と良好な光学的結合効率を実現できた。

【0103】

〔請求項2に対応した効果〕



コンピュータ・ネットワーク、長距離大容量通信の幹線系など光ファイバー通信が期待されているレーザ発振波長が $1.1\mu\text{m}$ 帯～ $1.7\mu\text{m}$ 帯の分野において、安定して使用できる長波長帯面発光半導体レーザおよびそれを用いた通信システムが存在しなかったが、本発明のように、非発光再結合防止層を設けてなる面発光型半導体レーザ素子チップとすることにより安定した発振が可能となり、これを発光光源とした実用的な光通信システムが実現できた。

## 【0104】

さらに、従来端面発光型半導体レーザの場合には、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路の間にレンズ光学系を挿入する必要があったが、本発明のような半導体レーザと光ファイバまたは光導波路の位置関係にすることで、レンズを用いる必要がないため部品点数が少なく、光軸方向に関してアライメントが緩やかで光ファイバまたは光導波路と良好な光学的結合効率を実現できた。

## 【0105】

## 〔請求項3に対応した効果〕

このような光通信システムにおいて、半導体レーザと光ファイバまたは光導波路は当接していることによって、レンズ光学系を必要としないため部品点数が少なく、光軸と直交する方向のアライメントマージンも増加するため低コストで、光ファイバまたは光導波路と良好な光学的結合効率を実現できた。

## 【0106】

## 〔請求項4に対応した効果〕

このような光ファイバまたは光導波路は、放熱部をもち、該放熱部は、前記半導体レーザ素子チップに当接していることによって、半導体レーザ発信により発生した熱を基板側からだけでなく、発光面側からも放熱できるため、より安定した光通信システムを実現できた。

## 【0107】

## 〔請求項5対応した効果〕

このような光ファイバまたは光導波路と面発光型半導体レーザ素子を複数用いることによって、並列信号処理を行えるため、より大容量の光通信システムを実現できた。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの素子部断面図である。

【図 2】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの半導体分布ブラッグ反射鏡の構成の部分断面図である。

【図 3】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの他の構成の素子部断面図である。

【図 4】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を形成したウエハ基板ならびにレーザ素子チップを示す平面図である。

【図 5】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザの光放射角とビーム径の関係を示す模式図である。

【図 6】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザのビームの広がり、光ファイバのコア径、光路長の関係を示す模式図である。

【図 7】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子のビーム径と光路長の関係を示す計算例である。

【図 8】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザと光ファイバの結合部を示す模式図である。

【図 9】

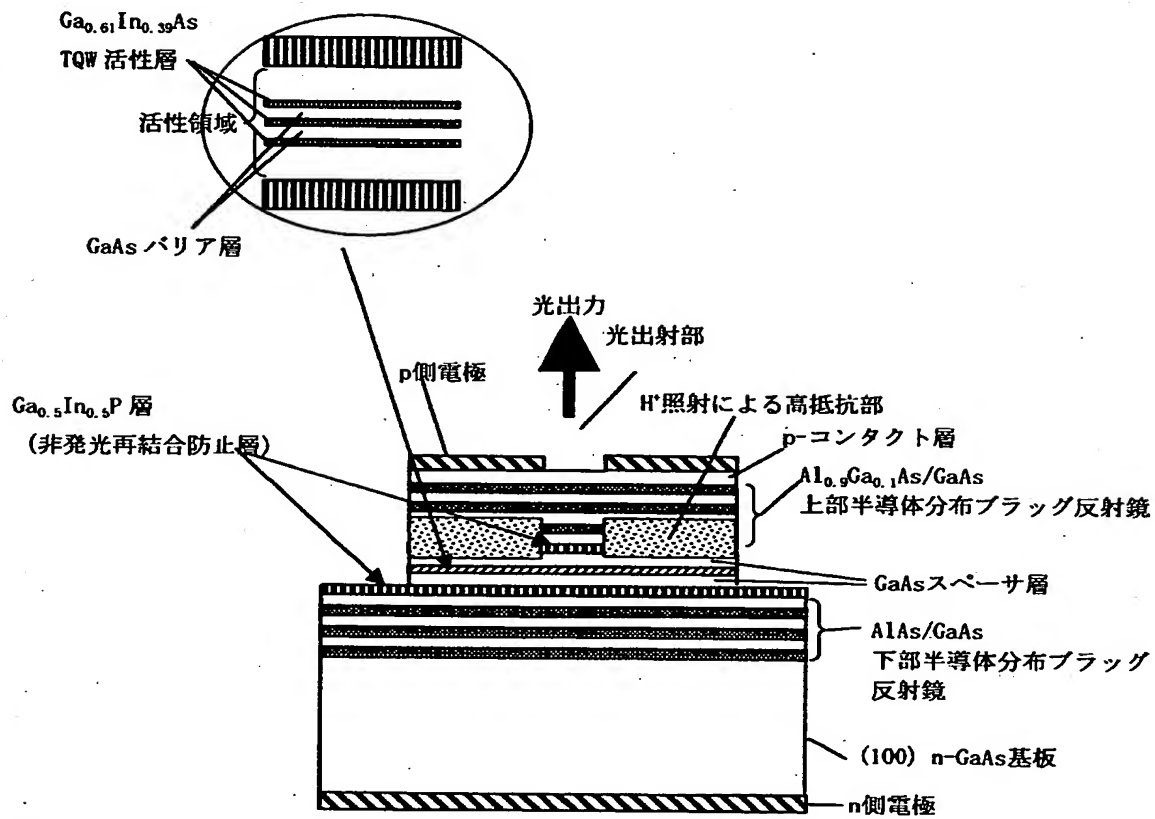
本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザと光導波路の結合部を示す模式図である。

【図 10】

本発明の一実施形態に係る長波長帯面発光半導体レーザ素子を用いた光通信システムの半導体レーザと光導波路の結合部を示す模式図である。

【書類名】 図面

【図 1】

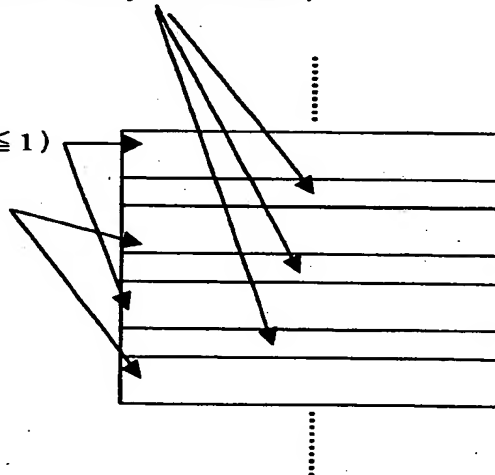


【図 2】

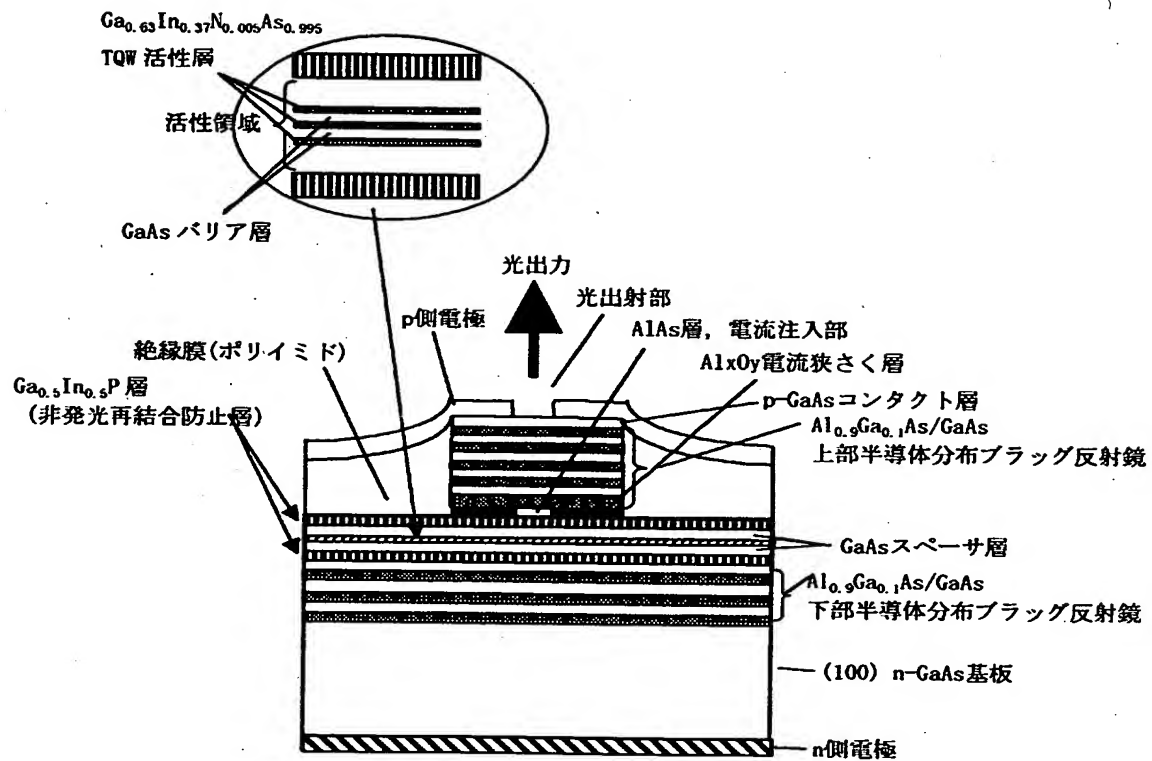
屈折率が小と大の間の値をとる材料層  $\text{Al}_z\text{Ga}_{1-z}\text{As}$  ( $0 \leq y < z < x \leq 1$ )

屈折率が大の材料層  $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 \leq y < x \leq 1$ )

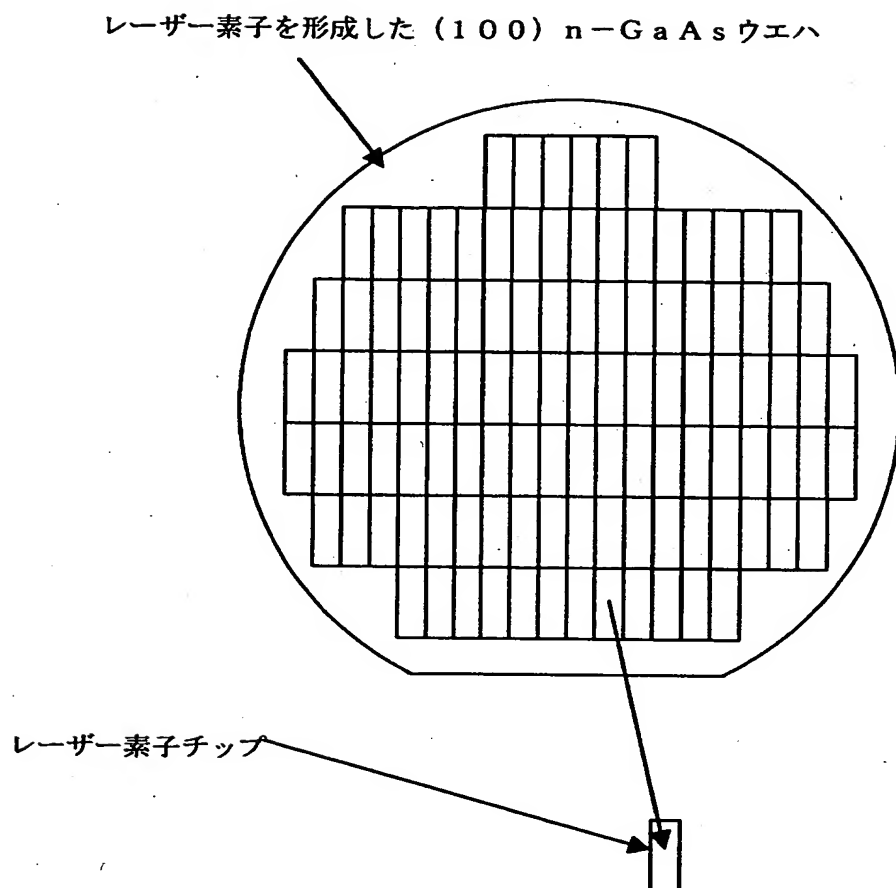
屈折率が小の材料層  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ )



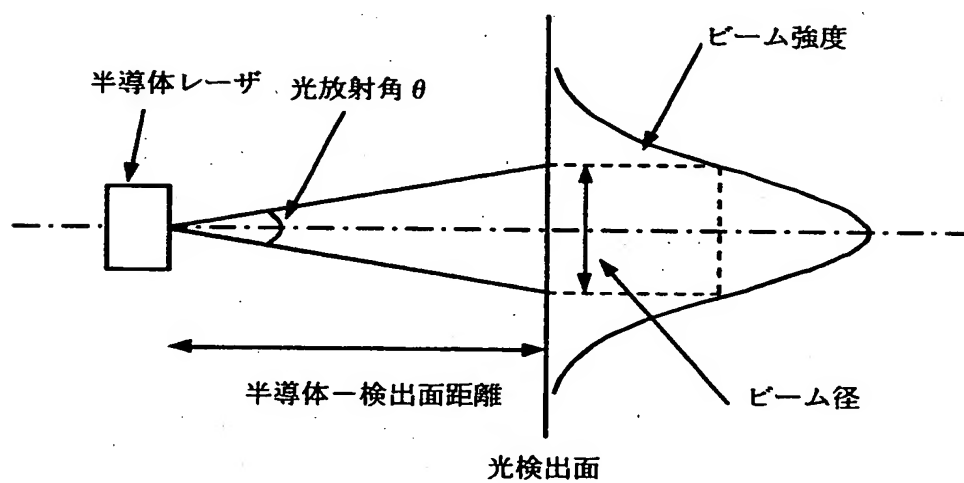
【図 3】



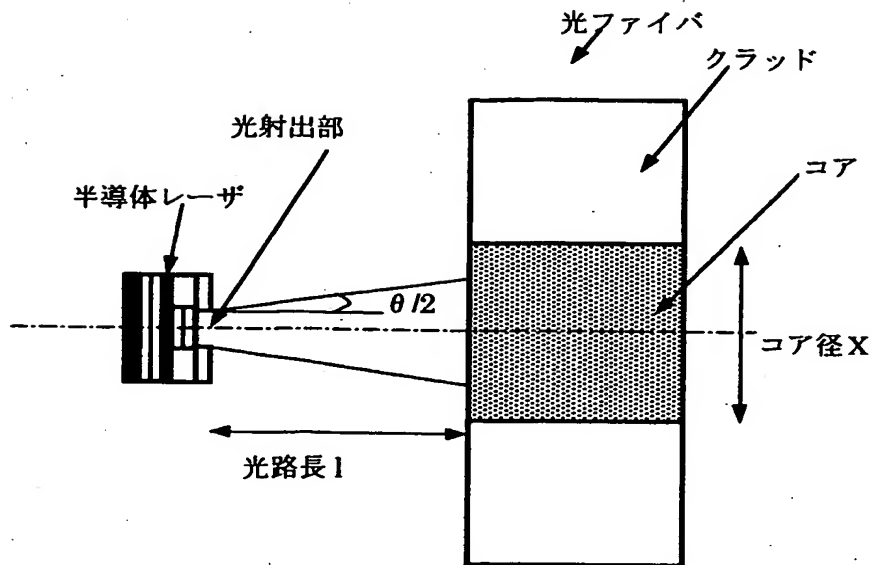
【図 4】



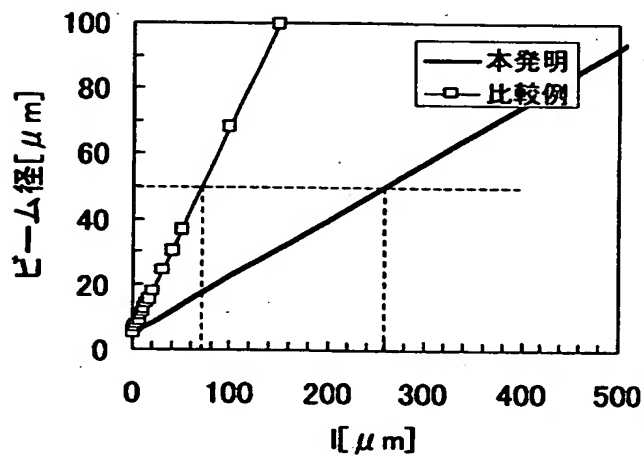
【図 5】



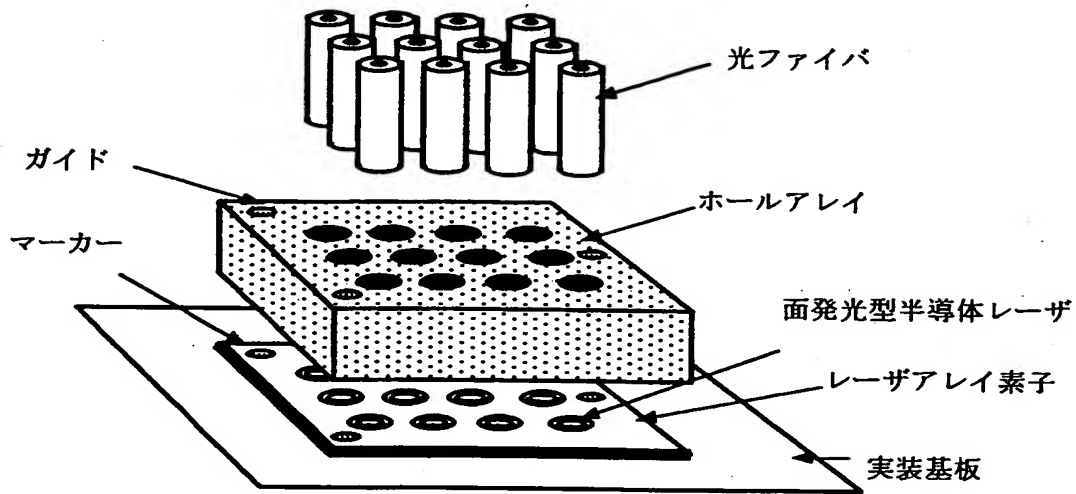
【図 6】



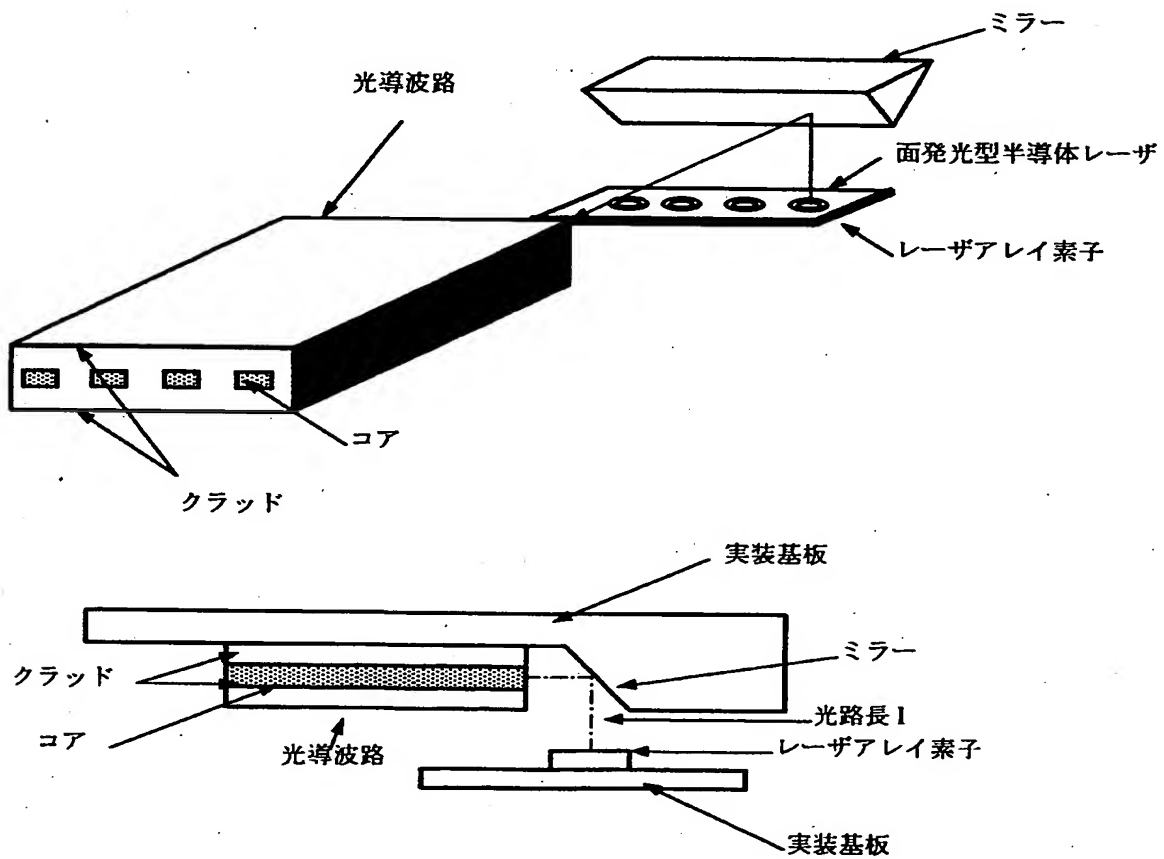
【図 7】



【図8】

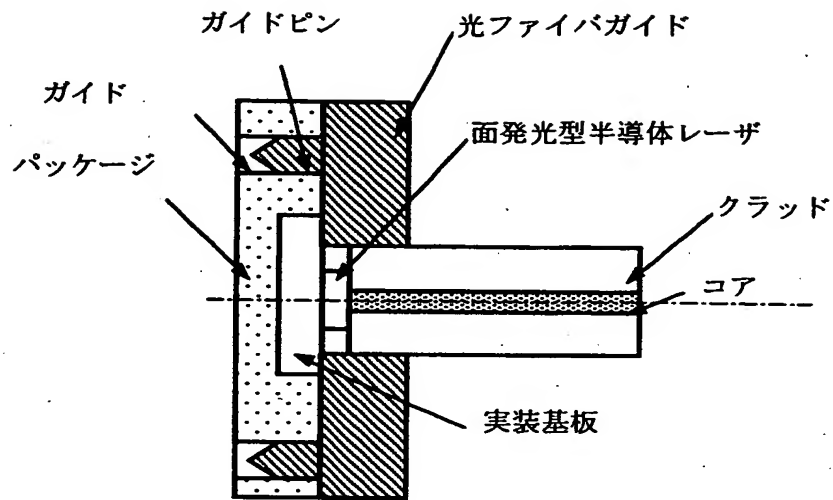


【図9】





【図10】



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    信頼性が高く部品点数の少ない良好な光学的結合効率を可能とする光通信システムを提供する。

【解決手段】    本発明においては、従来の端面発光型半導体レーザよりも光放射角の小さい長波長帯面発光型半導体レーザを用いて光結合を行う。従来の端面発光型半導体レーザにおいては光放射角が大きいために、光ファイバや光導波路において、効率的な光結合を得るためにマイクロレンズ等を用いて光をコア径X以下に収束させる必要があった。一方、本発明の長波長帯面発光型半導体レーザチップによる半導体レーザにおいては光放射角が小さいため、このようなマイクロレンズが不要となり半導体レーザと光ファイバ間を近接させ良好な光学的結合を実現できる。さらに、マイクロレンズが不要であるため部品点数を削減することができ、信頼性が向上する。

【選択図】            図 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006747]

1. 変更年月日 1990年 8月24日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都大田区中馬込1丁目3番6号  
氏 名 株式会社リコー